



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

SO SICHER IST SICHER

Der Umgang mit Ungewissheiten bei der Sicherheitsbewertung

DR. S. KNOSPE

Morsleben, am 18.11.2021

INHALT

So sicher ist sicher –

Der Umgang mit Ungewissheiten
bei der Sicherheitsbewertung

1

WIE BEWERTEN WIR LANGZEITSICHERHEIT

2

**SYSTEMATISCHER UMGANG MIT UNGEWISSHEITEN –
METHODEN UND BEISPIELE**

3

SICHERHEITSAUSSAGE UND UNGEWISSHEITEN



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

1 WIE BEWERTEN WIR LANGZEITSICHERHEIT?

Bezüglich Erreichen und Einhalten ganz konkreter Schutzziele

- **Langzeitsicherheit**
 - Entwicklung des Endlagersystems und der Umgebung (auch der Biosphäre)
 - nach Stilllegung und Verschluss bis 1 Mio. Jahre
- **Schutzziele**
 - Möglichst geringe Freisetzung von Radioaktivität (0,1 mSv/a für zu erwartende Entwicklungen und 1 mSv/a für abweichende Entwicklungen) und von Schadstoffen
 - Kritikalität verhindern und Bergschäden vermeiden

1 UNGEWISSEHEITEN IM ENDLAGERSYSTEM



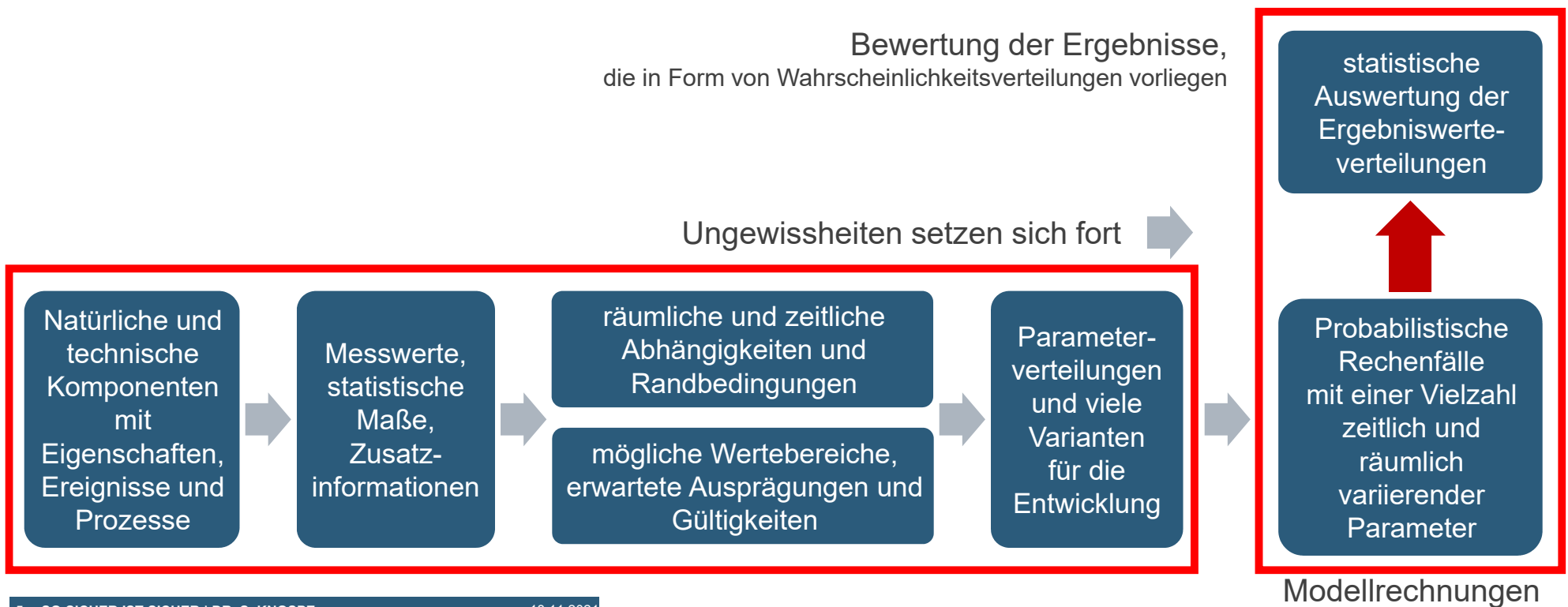
Unvermeidbare Ursachen für Ungewissheiten bei der Beschreibung des Endlagersystem

- **Messwertgenauigkeit**
- Daten- und **Informationslücken**,
- **Prognoserechnungen** über das Verhalten von Einzelkomponenten
(Konvergenzen, hydraulische Widerstände der zukünftigen Schachtabdichtungen)
- **Einschätzungen** über das zukünftig Mögliche
(Brunnen- oder Geothermie-Bohrung, Zutrittsmenge von Lösungen ins Grubengebäude)
- **Varianten** für das Verhalten in der weiteren Entwicklung
(Klimabilder mit und ohne Eiszeit)
- Unterschiedliche mathematische und **Berechnungsansätze**
(Finite Differenzen Modelle, Strömungs- und Transportgleichungen, Probabilistik)

1 UNGEWISSHEITEN BEI DER BESTIMMUNG ZUKÜNFTIGER VERHÄLTNISS

Ungewissheiten bei der Bestimmung zukünftiger Verhältnisse

Bewertung der Ergebnisse, die in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungen vorliegen



1 UNGEWISSEITEN BEI DER MODELLIERUNG

Modelle und Ungewissheit

- **Modelle** ermöglichen es, komplizierte Sachverhalte und Systeme zu analysieren, zu verstehen und das Verhalten und die **Entwicklung abzubilden**
- **Vertrauen** in die Ergebnisse durch:
 - Klarheit der Modellziele und
 - Kenntnis der Ungewissheiten in den Daten und Modellrechnungen
- d.h. bestehende **Ungewissheiten** werden:
 - Analysiert, identifiziert, quantifiziert
- Umgang mit **verbleibenden** Ungewissheiten erfolgt systematisch:
 - Akzeptieren, in allen Berechnungen berücksichtigen
 - und deren mögliche Auswirkungen bewerten

Ungewissheiten werden

- bekannt gemacht,
- mit modelliert und
- in Ergebnissen transparent kommuniziert

1 TYPEN VON UNGEWISSEITEN

- **Unvollständigkeit und Skaleneffekte:**
unvollständige Datenreihen und Kenntnisse über Komponenten und ihrer Eigenschaften
- **Parameterungewissheiten:**
Messgenauigkeit, Häufigkeiten
Wertebereiche
- **Methodenungewissheiten:**
Zuverlässige Bewertung und adäquate Beschreibung ablaufender Prozesse und von Abhängigkeiten
- **Modellungsgewissheiten:**
Unvollständige, fehlerhafte Abbildung in Modellen

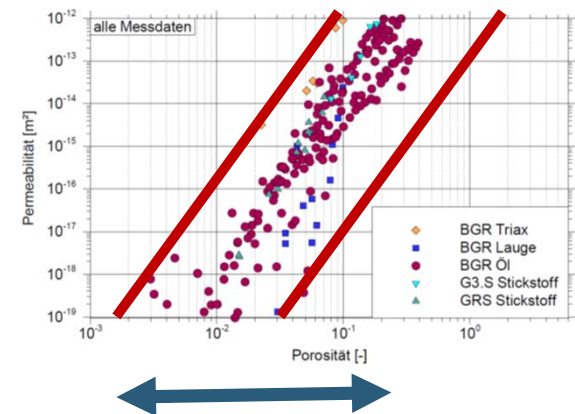
2 SYSTEMATISCHER UMGANG MIT UNGEWISSEHEITEN

Umgang mit Ungewissheiten und Möglichkeiten der Reduktion

1. Vollständige **Identifikation** und **Erfassung**
2. **Generalisierungen**
3. **Systematik** und vollständige Berücksichtigung in Berechnungen
 - bei der **Ermittlung von Entwicklungen** des Endlagersystems , ...
 - durch Vergleichsrechnungen, Analogien, Variantenbetrachtungen, Parameterstudien, ...
 - mittels **Bandbreiten**, Sensitivitätsstudien, **probabilistischer Modellrechnungen** und Simulationen, ...
4. **Akzeptanz** und Kommunikation –
Vertrauen in die Sicherheitsaussagen trotz ... **gewisser Ungewissheiten**

2.1 IDENTIFIKATION UND ERFASSUNG

Datenerfassung mit ihren Ungewissheiten



2.2 REDUKTION DER KOMPLEXITÄT

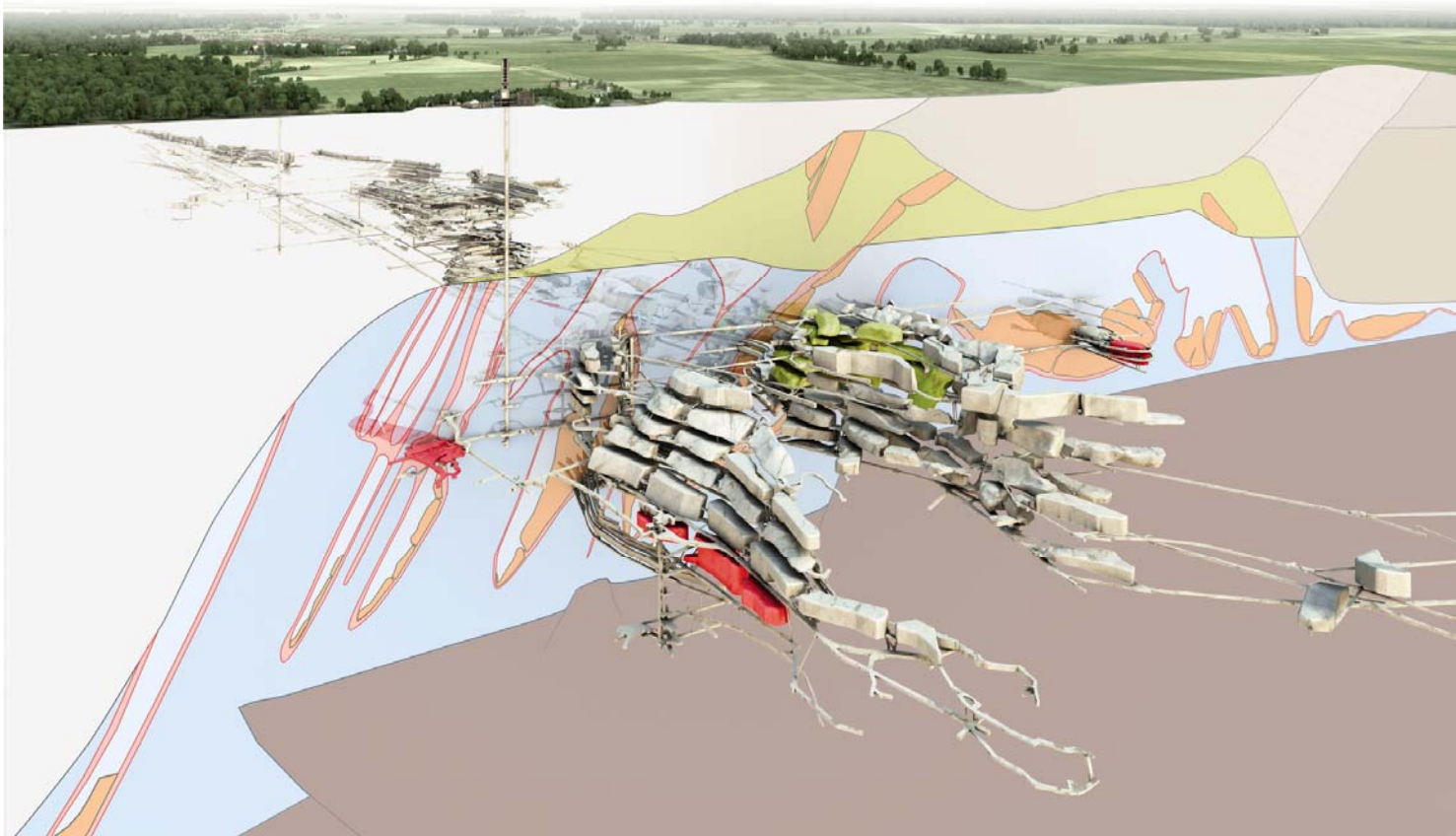
Ausrichtung auf Modellziele

Beispiel: Modell für Strömung und Stofftransport im Endlager

- **Reduktion der Komplexität**
(orts- und zeitabhängige Eigenschaften und Prozesse –
Integration und Mittelbildung)
- **Generalisierung** angepasst an
 - Modellziel,
 - vorhandene Informationsdichte und
 - Repräsentationsniveau
(Skalenniveau – lokal und global wirkende Prozesse)

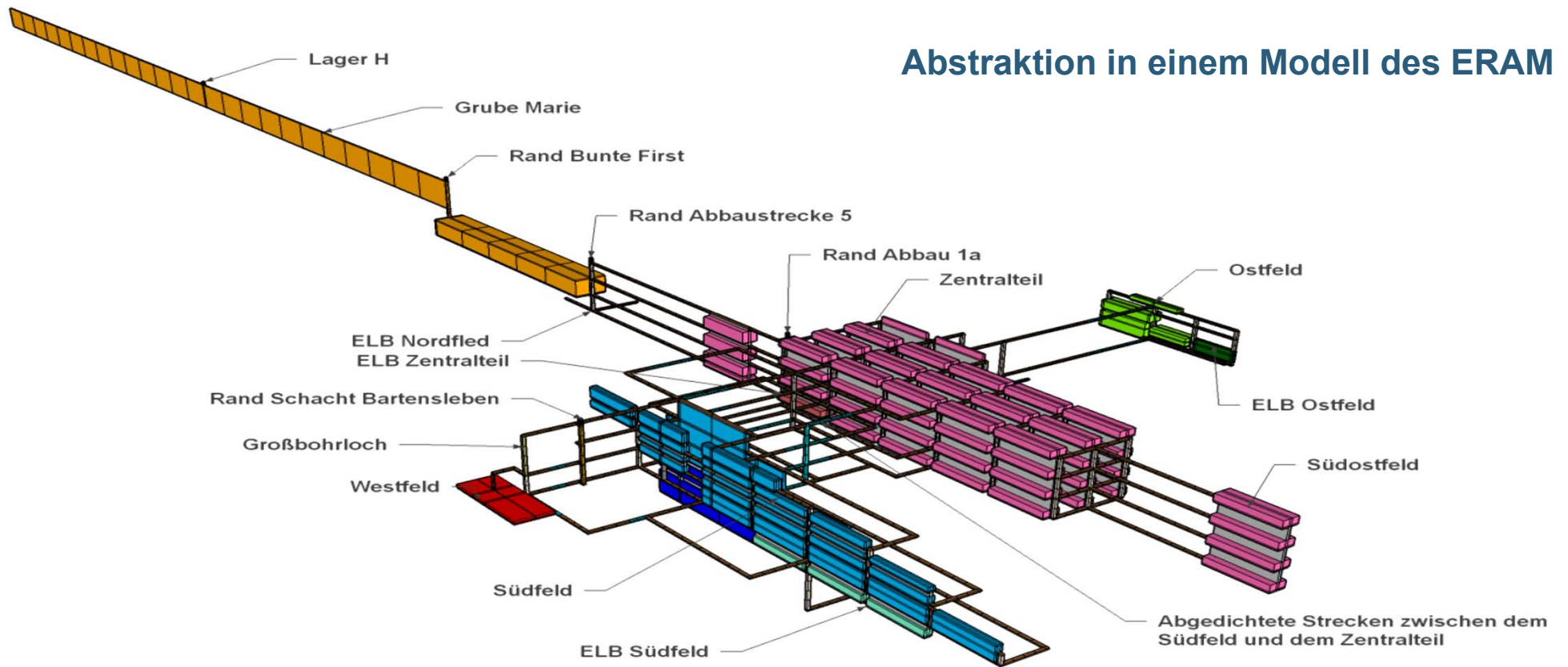


2.2 REDUKTION DER KOMPLEXITÄT



**Das Grubengebäude
des ERAM
und Geologie der
Salzstruktur**

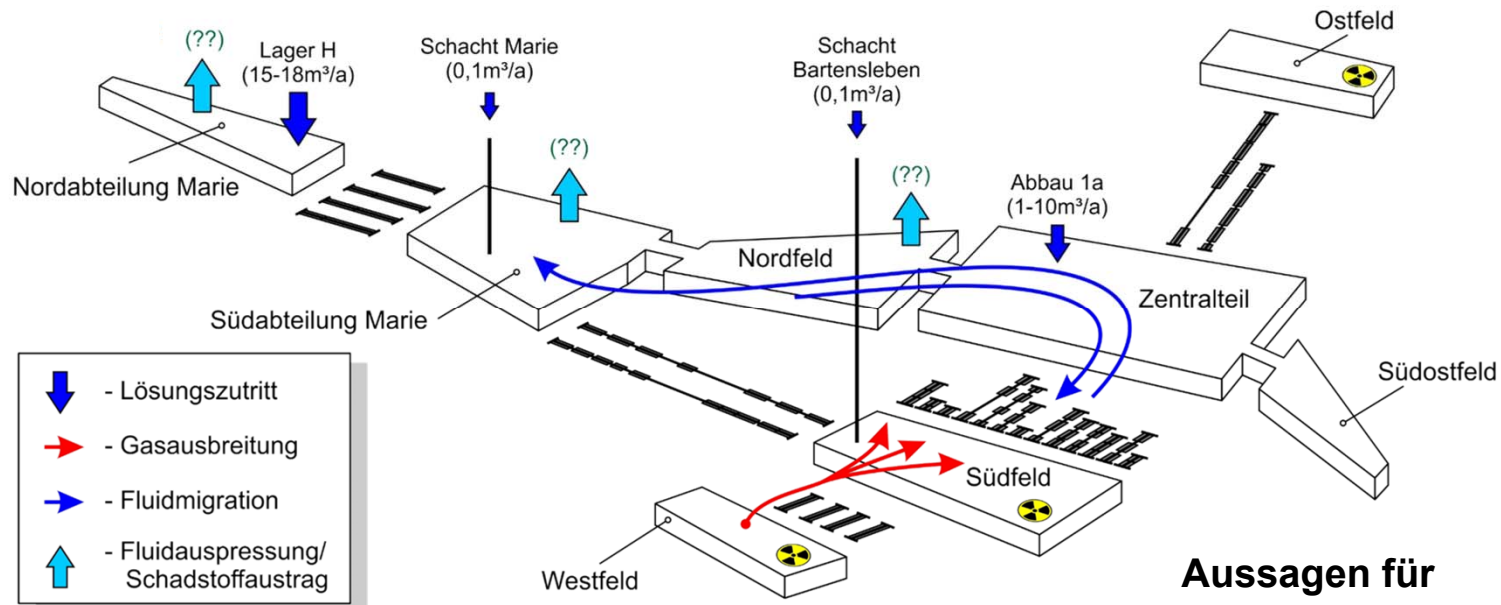
2.2 REDUKTION DER KOMPLEXITÄT



2.2 REDUKTION DER KOMPLEXITÄT

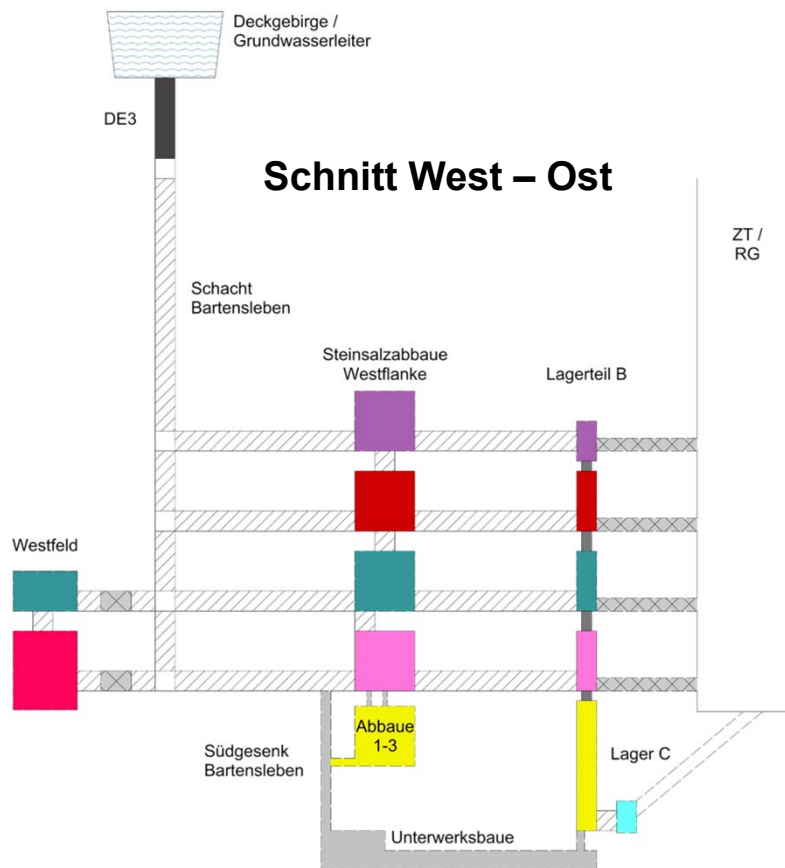
Nicht die **Realität** „genau“ abbilden,
sondern die Sicherheitsfunktionen des Endlagersystems

Das Systemverhalten im ERAM



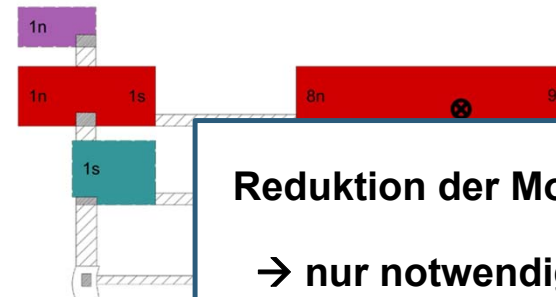
**Aussagen für
Bewertung bezüglich der Einhaltung
der Schutzziele sind notwendig**

2.2 REDUKTION DER KOMPLEXITÄT




Modelloptimierung für das Strömungsmodell im West-Süd-Feld des ERAM

Schnitt Nord – Süd



Reduktion der Modell-Komplexität

- nur notwendige Datendichte und skalenabhängige Ungewissheiten,
- Steigerung der Zuverlässigkeit von Modellrechnungen



2.3 SYSTEMATIK BEI DER ERMITTLUNG VON ENTWICKLUNGEN DES ENDLAGERSYSTEMS

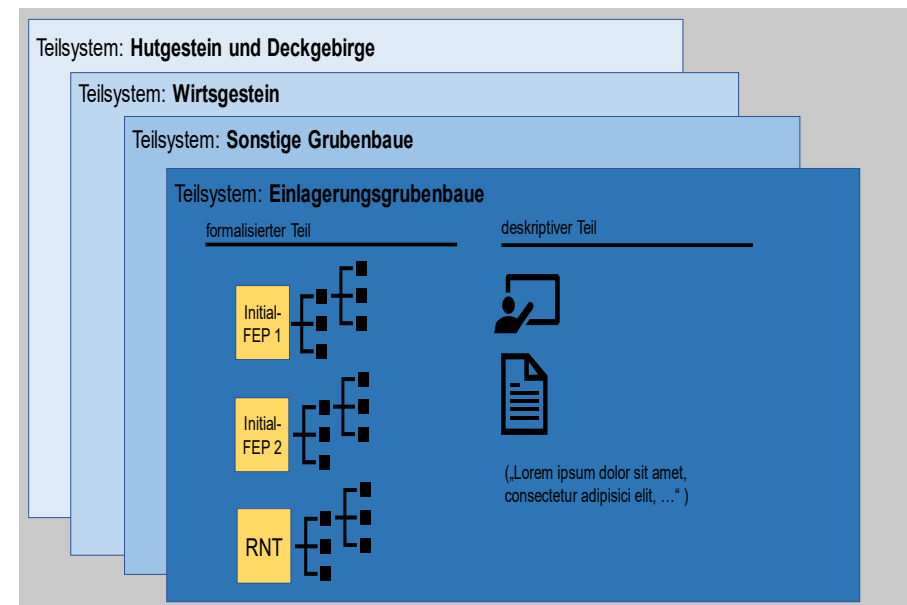
- **ZIEL: vollständige** Beschreibung des Endlagersystems und seines Verhaltens ...
- **Komponenten** und die Eigenschaften
- **Ereignisse** und **Prozesse** und die Abhängigkeiten
 - **FEP (Features, Events and Processes)**
- **Vollständige Beschreibung der Ungewissheiten**
wann und wo eine Komponente/ ein Prozess gültig ist,
wie vollständig, genau und zuverlässig Eigenschaften
und mögliche Werteverteilungen beschrieben werden können

2.3 ABLEITUNG MÖGLICHER ENTWICKLUNGEN DES ERAM AUS DEN FEP

Festgelegte Methodik für die Langzeitsicherheitsanalyse

- Basierend auf **vollständigem FEP-Katalog** mit vollständig definierten **Abhängigkeiten** und **Ungewissheiten** ...
- ... gelingt systematische Ableitung **aller möglichen** Entwicklungen des ERAM.

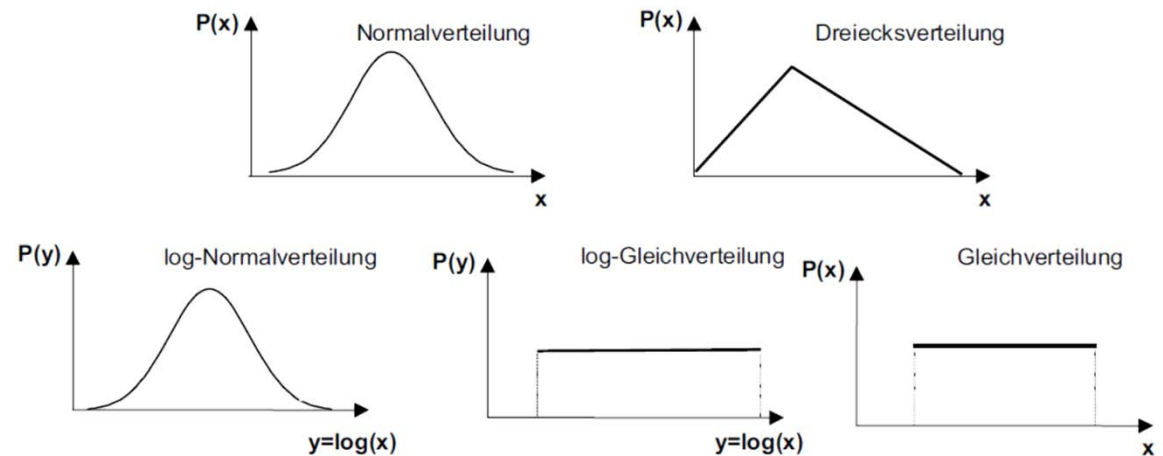
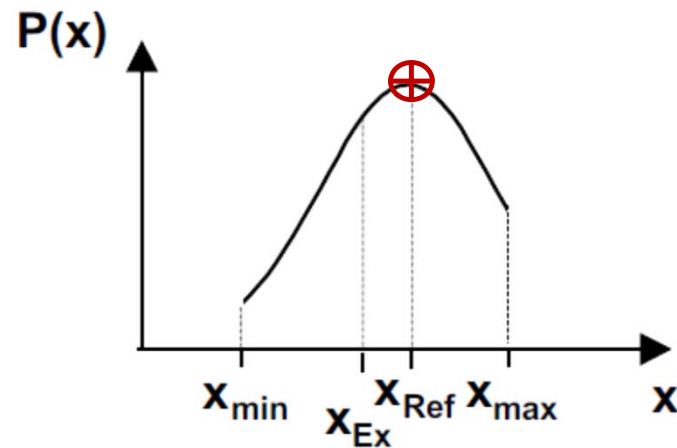
Vollständigkeit und Repräsentativität !



2.4 AKZEPTANZ DER UNGEWISSEITEN IN DER SICHERHEITSBEWERTUNG

Bedeutung von Ungewisheiten in Modellrechnungen

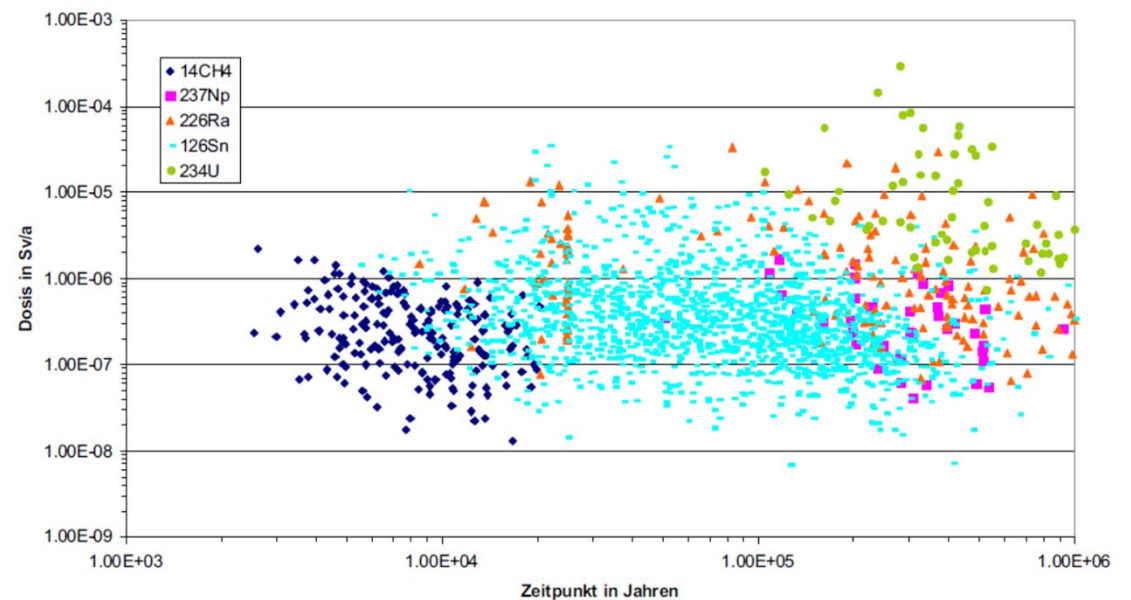
- Wertebereiche und **Bandbreiten**, **Verteilungsannahmen** für Kennwerte,
- **Parameterstudien**



2.4 AKZEPTANZ DER UNGEWISSEITEN IN DER SICHERHEITSBEWERTUNG

Bedeutung von Ungewisheiten in Modellrechnungen

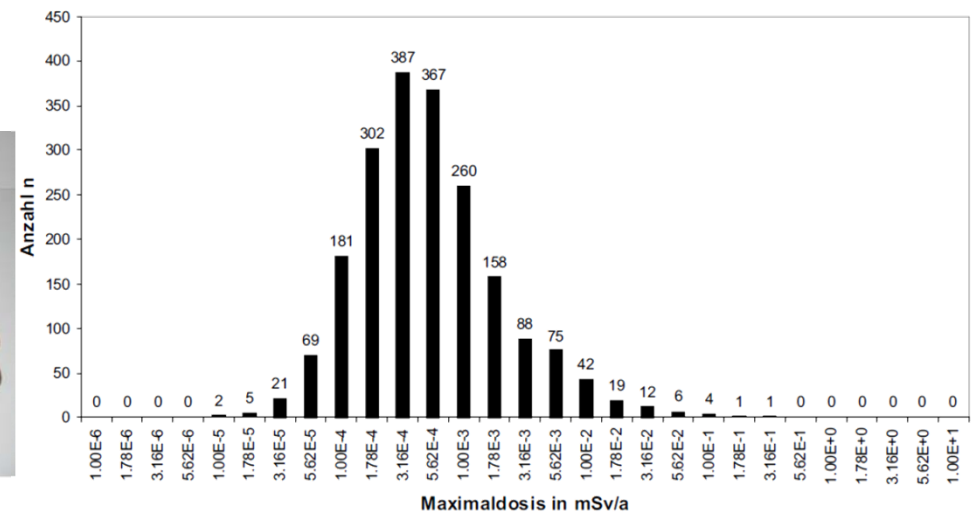
- Wertebereiche und Bandbreiten, Verteilungsannahmen für Kennwerte,
- Parameterstudien,
- **Sensitivitätsanalysen**



2.4 AKZEPTANZ DER UNGEWISSEITEN IN DER SICHERHEITSBEWERTUNG

Bedeutung von Ungewisheiten in Modellrechnungen

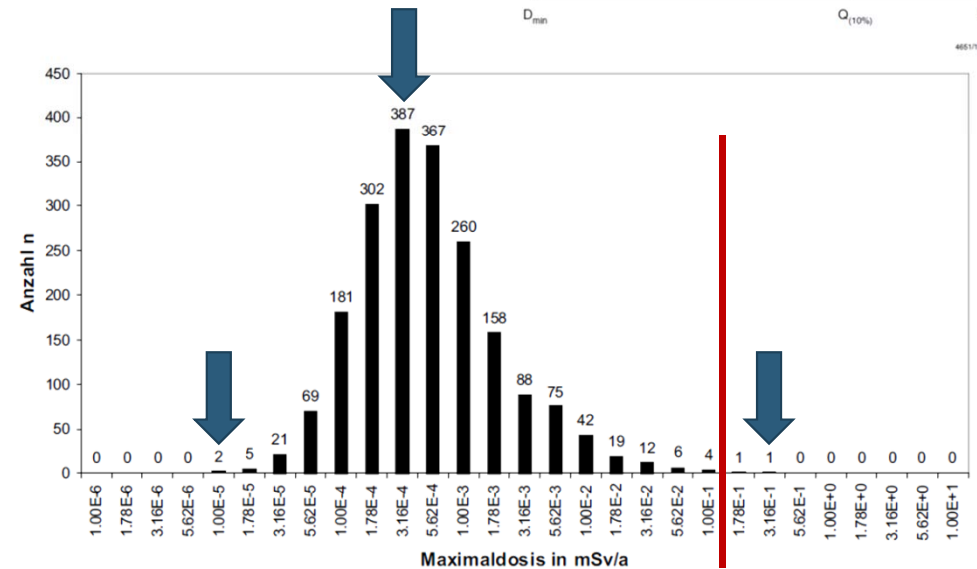
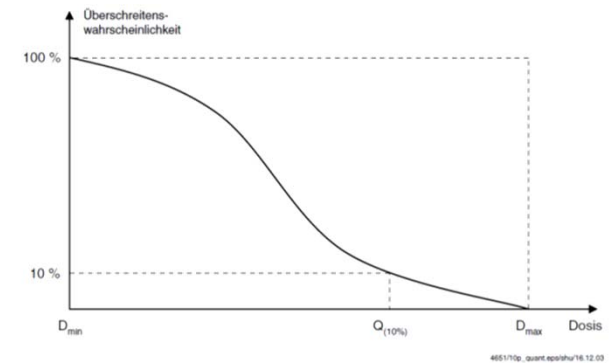
- Wertebereiche und Bandbreiten, Verteilungsannahmen für Kennwerte,
- Parameterstudien,
- Sensitivitätsanalysen,
- **Probabilistik – Monte-Carlo-Simulation** (Variieren aller Parameter)



2.4 AKZEPTANZ DER UNGEWISSEITEN IN DER SICHERHEITSBEWERTUNG

Bedeutung von Ungewisheiten in Modellrechnungen

- Wertebereiche und Bandbreiten, Verteilungsannahmen für Kennwerte,
- Parameterstudien,
- Sensitivitätsanalysen,
- Probabilistik,
- Rechenfälle für abweichende Varianten,
- **Statistische Auswertung der Ergebnisse, z.B.**
 - Mittelwert, Minimum, Maximum
 - Überschreitungswahrscheinlichkeiten



3 SICHERHEITSAUSSAGE UND UNGEWISSHEITEN



Zusammenfassung

- Die Identifikation, Berücksichtigung und Kommunikation vorhandener Ungewissheiten schafft Vertrauen in die Sicherheitsbewertung
- Abkehr von (subjektiv bestimmten) Wahrscheinlichkeiten und von Bewertungen von Einzelparametern auf Zwischenstufen (Vermeidung von Konservativitätsannahmen)
 - hin zu Formulierung von Erwartungen
- Möglichkeiten aktueller Rechentechnik, moderner Methoden und dem Know-how vieler Beteiligten ...

3 SICHERHEITSAUSSAGE TROTZ UNGEWISSEHEITEN

*„Sicher ist,
dass nichts sicher ist.
Selbst das nicht.“*

Joachim Ringelnatz

*„**Weil** wir die Ungewissheiten in den Daten, Modellen
und Berechnungen kennen, beachten und nutzen,
können wir die Langzeitsicherheit des ERAM bewerten“*

Dr. Steffen Knospe



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

DR. STEFFEN KNOSPE
EMO-SL.4 Sicherheitsanalysen

Standort Salzgitter
Willy-Brandt-Straße 5
38226 Salzgitter

www.bge.de
www.einblicke.de



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**



[@die_BGE](https://twitter.com/die_BGE)